

从长计议 用什么作燃料？

柴 油 在 美 国

功率强大的柴油机为世界经济提供动力已经有一个多世纪。无论是从经济角度还是从实用角度，柴油机的使用还会继续下去。柴油机的主要优点是功率大、耐用、和汽油相比，它的优势是能量高，燃油效率也高。

但是，约在50年前开始的研究已证实柴油机排放的废气会危害健康，特别是柴油机尾气中所含的或后来在大气中形成的颗粒物。时到今天，对这个问题的研究仍在继续。美国环保局（EPA）在2002年5月份发布的《全国空气毒物评估》（*National-Scale Air Toxics Assessment, NATA*）中称，美国东部地区基本上每一个县，以及许多西部的县都存在环境空气柴油机颗粒物（diesel particulate matter, 以下简称DPM）暴露，其中包括二氧化硫、挥发性有机化合物、以及芳香烃等污染物。

美国的公共健康机构认为由空气污染引起的有毒物质总量至少有70%源自柴油机排出的废气。为了减少柴油机废气的不良影响，几十年来，美国管理部门一直要求降低柴油机的污染物排放。这一努力的结果令新型或者改良后的柴油机排放的颗粒

物质总量大幅度下降。

但是美国数以百万计的未加以改进的老式柴油机仍在继续运转。而且，新的燃料和废气控制方法产生的其它微小颗粒物会带来什么样的问题仍是一个未知数。数家私营和公共机构的研究人员正在对数据进行收集和研究，设计新的实验，寻求这些问题的答案。

随着研究的深入（尽管有的研究结果是相互矛盾的），经法院裁决，新的公路柴油机管理规定分别于2002年、2004年、2007年、以及2010年生效。其它管理规定，包括对灌溉水泵和船用等非公路柴油机的规定还在酝酿阶段。（这些规定）在减少DPM排放问题上将起到和公路柴油机管理规定同样重要的作用。“这是解决问题的极其重要的一环”，美国肺脏病协会负责政府关系的助理副会长Paul Billings说。根据美国环保局1999年《国家空气质量和排放趋势报告》（*National Air Quality and Emissions Trends Report*），大约三分之二的柴油颗粒物源自非柴油机车排放。



许多人正致力开发更清洁的柴油发动机，如果在马力、耐久性、和效率方面能够赶上柴油机，燃氢电池等代用能源倒不失为一种更健康的、长期有效的环境污染解决方案。生产制造厂家在设计小汽车、轻型卡车、甚至公共汽车上都在不断探索，已接近成功。但柴油机行业并未出现任何衰微的迹象。“我认为任何一种技术都无法取代柴油发动机”，马里兰州弗雷德里克市一家代表十几家柴油机公司、燃油技术开发公司的组织——柴油机技术论坛执行董事Allen Schaeffer说。

持久的动力，恒久的颗粒

自德国工程师鲁道夫·狄赛尔(Rudolf Diesel)1892年申请柴油机专利以来，柴油机已迈入了一个新纪元。狄赛尔当年试验了多种燃料类型，包括煤粉，但一次发动机爆炸事故使他认识到，液体燃料可能会更加安全。花生油也曾是狄赛尔早先的选择之一，但石油产品很快就主导了柴油发动机燃料市场。

柴油机发动和汽油发动机有许多相似之处。两种发动机都靠燃料的内燃推动活塞，再由活塞将动力传递至曲轴，最后传递

至轮子、皮带轮、或其它功率输出装置。但柴油机点火的热能来自于燃油的压缩，不像汽油发动机那样由点火装置引燃。柴油不如汽油纯净，但能量比较高。

近一个世纪以来，柴油机内的燃烧是通过机械方法控制的。尽管柴油机马力大，但效率差，燃油燃烧不充分，废气排放水平高。为了降低废气排放水平，继氮氧化物和碳氢化合物标准出笼后，美国环保局的第一套为轻型小汽车和卡车柴油机制定的颗粒物(DPM)标准于1982年开始实施，重型汽车标准则于1988年实施。由于这些标准的实施，新一代的汽车发动机在设计时采用了自动控制的燃料喷射系统，从而实现了更充分的燃烧并降低了废气排放水平。据美国能源部(DOE)交通运输部技术处的资料，柴油机燃油效率为45%，而汽油则为30%。能源部说，改进之后，柴油机的效率进一步提高到55-63%。

尽管柴油机具有效率优势，但柴油机的废气排放量却比与之相当的汽油发动机高出许多。特别是颗粒物质和氮氧化物，即使像能源部(DOE)所说的那样，与1980年的设计相比，汽车柴油发动机的废气排放量已经下降了90%以上。如果对这两种

排放物质不采取进一步的控制措施，那么健康和环境问题还是无法得到解决，特别是柴油机的使用还有增长的趋势。能源部说，近年来，柴油消费已出现稳步的增长——从1986年的多于290亿加仑增加到2000年的355亿加仑左右——且在今后的几十年，有望以每年2%的速度继续增长。

指望大规模的发动机自然报废来逆转这一趋势的可能性不大。柴油机使用寿命一般比较长，因为燃油压缩的要求，发动机选用的材料强度较大。美国已经上路的600万辆汽车都可以行驶40万英里，甚至100万英里。在美国，大约还有600万台非公路柴油机——包括拖拉机、灌溉泵、叉车、机车、推土机、施工起重机、地下采矿用移动式发电机、冷藏车制冷机、船用柴油机以及其它柴油机——还可以年复一年地使用下去。

废气对健康的影响

柴油机排气管喷出的烟雾由数千种物质组成，包括一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物、挥发性有机化合物、烯烃、芳香烃、以及醛类。人们对这些物质中的大多数对健康的影响，以及废气中的各种化学物质与大气中已经存在的各种化学物质之间发生的相互反应了解得还很少。但是，废气化学物质中有40种以上确定为致癌物和有害空气污染物。

许多研究人员和政府官员，包括制定

《全国空气毒物评估》的研究人员和官员，已经得出结论：以柴油机颗粒物来衡量的柴油机废气除了可以引起癌症之外，还可以引起一系列其它健康问题，包括上呼吸道炎症、对细菌、病毒、过敏源的易感、以及肺部功能下降。对各种来源的直径在 $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) 以下的颗粒物，包括柴油机废气中的 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物的研究显示，这些微小污染物与各种各样的心血管和生殖系统疾病及糖尿病之间存在联系。《揭示颗粒混合物中各种成份对健康的影响：进展和前瞻》(*Understanding the Health Effects of Components of the Particulate Matter Mix: Progress and Next Steps*) 是2002年4月由美国环保局和位于波士顿的一个机动车辆发动机制造商财团共同资助的研究机构——健康影响研究所 (Health Effects Institute, HEI) 完成的。具体情况可参考此项研究的报告。2002年1月美国环保局颗粒物健康影响研究中心规划处的《状态、进展和计划中期 (2年半) 报告》(*A Mid-Course (2 1/2 year) Report of Status, Progress, and Plans*) 称，微小颗粒物还会引起神经系统疾病并会使哮喘病发病症状加重，发病人数增加。

对各种来源的颗粒物都比较敏感的人群包括孕妇、儿童、老人、免疫系统脆弱的人群、以及已患有呼吸道慢性疾病及糖尿病的人群。但是，具体到哪些人会受到影响以及如何受到影响的许多细节尚不清楚。

过去几十年的研究显示，环境空气中的 $\text{PM}_{2.5}$ (美国环保局环境空气微小颗粒物标准上限值，是对美国环保局 $10\ \mu\text{m}$ 以下颗粒物标准的补充) 包含了大部分的路边环境空气中的颗粒物。这些微小颗粒物中，数量最大的是直径在5-50 nm之间，比 $\text{PM}_{2.5}$ 还要小50-500倍的纳米颗粒。明尼苏达大学机械工程系教授David Kittelson说，路边环境空气中数量最多的颗粒物往往是柴油机颗粒物，尽管汽油发动机产生的颗粒甚至比柴油机还要小。

从几项发表的研究来看，DPM的碳核并不是影响健康的元凶。起作用的倒可能是碳核上附着的污染物。这些附着污染物会渗入肺部深处，并越来越被疑为引发人体各系统疾病的元凶。数量众多的微小颗粒在有的系统中造成了严重的问题，因为1克的纳米颗粒的面积比相同质量的 $\text{PM}_{2.5}$ 要大得多。因此，与纳米颗粒结合的化学污染物也要多得多。除了尾气管排除的纳米颗粒之外，Kittelson发现，很多颗粒物是尾气在大气中散开后发生各种各样的化学反应后形成的。

问题和答案

随着研究工作在各个领域继续深入的同时，填补一项基础空白的研究应优先考虑：“确定空气中究竟有多少DPM是一个非常必要的步骤”，健康影响研究所资深研究员



柴油机的尴尬：功率强大、经久耐用的柴油机已成为生产制造、建筑施工、船舶、和农业等重载场合的理想选择。但是，柴油机排放的污染物现在被认为已占到空气污染物总体毒性风险的70%。

PhotoDisc

Debra Kaden说。尽管目前已经有估算DPM的多种方法，但不完善，容易出错，她补充说。

Kaden所说的也是大多数DPM研究的情况。即使是两台看上去完全相同的车辆产生的废气也可能存在极大的差异。影响因素包括发动机年限、负载、燃油类型、润滑油成份、废气控制系统、大气条件、海拔高度、以及其它物质的出现，如臭氧。而且试验和测量程序的变化性也很大，西维吉尼亚大学机械与航天工程系副教授Mridul Gautam说。他目前正在为能源部和加利福尼亚州南海岸空气质量管制区域等客户设计新的柴油机测试方法。

普吉特海湾清洁空气监测站(Puget Sound Clean Air Agency)的研究人员认为他们已经掌握了一种相当不错的柴油发动机尾气测量方法。华盛顿州空气质量管理处高级空气质量科学家Naydene Maykut说，与美国环保局目前的化学质量平衡法相比较，这种叫做正矩阵因子分解(positive matrix factorization, PMF)的方法似乎能精确地估算颗粒物质的来源。在得知《全国空气毒物评估》研究结果之后，她和同事们用正矩阵因子分解法对西雅图地区的空气进行了评价。他们发现普吉特海湾地区属于美国空气毒物最多的5%的地区。这一分析结果与同时进行的废气总量评价和污染物监控所得出的DPM分布范围完全一致。“要么

是我们的运气太好了，要么就是方法对了。”她说。

她更偏向于后一种可能性。许多研究人员在使用这一方法后也这么认为。PMF是五年前在芬兰首先推出的。但是正矩阵因子分解法(PMF)也要求输入的准确性。而且，如果能够对输入详细的柴油化学成份进行验算，还可进一步改善，Kaden特别提出。

法规和治理

二十世纪五十年代柴油机卡车和机车在美国大量投入使用后，科研人员对柴油机废气排放的研究不断增加。迄今为止，美国及世界其它地区官方对柴油机废气排放采取的管理措施都是以这些研究结果为基础的。二十世纪七十年代后期，继柴油机烟气提取物可诱发细菌基因突变的报道之后，人们对柴油机废气的研究兴趣开始增加。

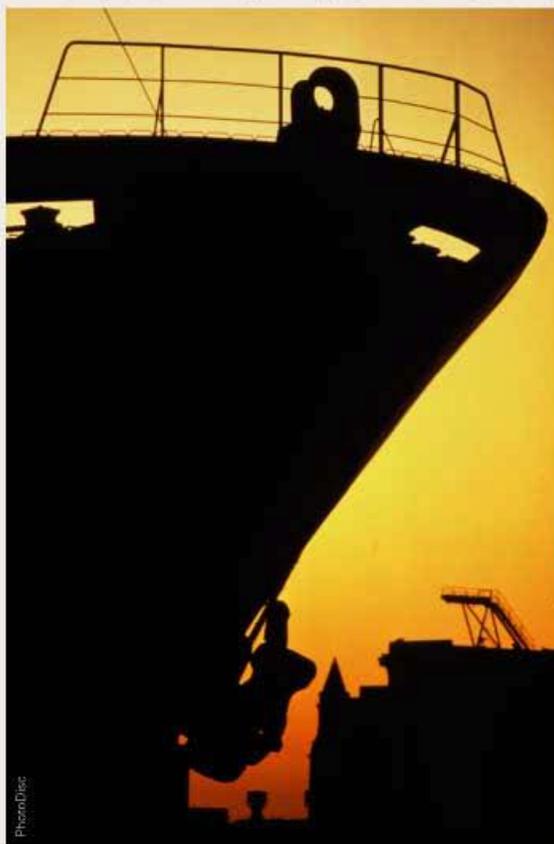
1988年，美国国家职业安全和卫生研究所(National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH)将柴油机废气确定为潜在职业致癌物。1990年，加利福尼亚州将柴油机废气确定为已知致癌物。二十世纪九十年代中期，美国政府及工业卫生工程师协会将柴油机废气定为可疑的人类致癌物。在加州，加利福尼亚州空气资源委员会(Air Resources Board, CARB)于1998年将DPM确定为有毒空气污染物。加利福尼亚州空气资源委

员会还推定柴油机颗粒物占加利福尼亚居民遭受的有毒空气污染物风险总量的70%。在国家毒理学研究组2001年的《致癌物第九号报告》(Ninth Report on Carcinogens)中，对DPM的分类为“极有理由将其定为人类致癌物。”

美国环保局将柴油机废气描述成“极可能引起人类癌症”和一种空气毒物。但是环保局仍要等进一步的研究结果出来以后再对DPM造成的风险进行具体的量化。“美国环保局没有直接采用加利福尼亚州空气资源委员会的数据”，华盛顿特区美国环保局下属的国家环境评估中心副主任Charles Ris说，“我们觉得这些数据也许不准确。”但是，在其2000年重型汽车发动机管理条例和最近公布的《全国空气毒物评估》中，美国环保局推算柴油机废气造成的终生癌症风险在1/100,000和1/1,000的范围内，远远高于其1/1,000,000的目标值。

普吉特海湾空气监测站在2002年5月份公布的《普吉特海湾空气毒物评估》(Puget Sound Air Toxics Evaluation)中得出了与加利福尼亚州空气资源委员会相似的结论，认为西雅图地区空气毒物风险的70-85%来自柴油机废气。“我们对这些数据感到相当满意”，执行董事Dennis McLerran说。但结果本身却颇令人担忧，因为柴油机废气“跨过了癌症风险和非癌症风险的界限”，他补充说。

美国环保局于1982年首次制定了DPM标



准，将小汽车和轻型卡车废气排放量限制在0.60克/英里的水平。1987年，小汽车的废气排放量又向下调整到0.20克/英里，轻型卡车调整到0.26克/英里。1998年，美国环保局又增加了一个0.60克/bhp-hr (bhp-hr: 制动马力小时，一种以发动机大小及使用年限为基础的废气排放量测量方法) 的重型卡车标准。随后在1991年，重型卡车的标准调整到0.25克/bhp-hr，公共汽车的标准调整到0.10克/bhp-hr。到1994年，这两项标准被进一步降低到常规发动机0.10克/bhp-hr以及城市公共汽车0.07克/bhp-hr。2002年5月经过一系列的辩论后，法院裁定这一标准在2007年之前将会下降到0.01克/bhp-hr。2010年之前会逐步执行下调后的氮氧化物和非甲烷烃的标准。

据美国环保局的资料，当所有这些标准全面付诸实施以及大部分旧柴油机都被淘汰以后，大约还需要25-30年时间。废气排放量的减少，每年可避免8,300人过早死亡，386,000例哮喘病患者儿呼吸道疾病发作，360,000例哮喘病发作，2,400例哮喘病急诊，17,600例急性支气管炎，5,500例慢性支气管炎，7,100人次住院治疗，以及150万个工作日损失。

造成空气中微小颗粒物水平不能达到美国环保局标准（丹佛和洛杉矶等大都市有25-32%的区域未能达标）的主要车型是重型柴油机卡车和公共汽车，美国国家研究委员会2002年4月份在一份题为《缓解交通阻塞和提高空气质量规划：10年经验评估》(Congestion Mitigation and Air Quality Improvement Program: Assessing 10 Years of Experience)的报告说。该报告还指出：因此，各县、市往往勒令柴油机操作人员采取措施，降低颗粒物排放量，帮助各地区执行《清

洁空气法案》所要求的各州实施计划。

另外，作为美国环保局一系列提案和法院裁定结果的一部分，从2006年6月1日开始，柴油含硫量将从目前的最大百万分之五百（500 ppm）下降到15 ppm。降低含硫量是降低DPM的关键所在，Kittelson说，因为硫在许多排放后聚结的纳米颗粒形成过程中起着重要的作用。同时，低含硫量也是目前正在研制的新一代的废气排放控制装置可能被采用的必备条件。

目前，已有少量低硫柴油供应。但2001年5月份能源部信息管理局一份题为《向超低硫柴油过渡：对价格和供应的影响》(The Transition to Ultra-Low-Sulfur Diesel Fuel: Effects on Prices and Supply)的报告认为，充足的供应在2006年新标准开始实施后才会出现。但是，华盛顿特区美国石油研究所产品问题经理Jim Williams说，这一问题尚无最后定论，新的非公路柴油机管理条例可能会对其产生重大影响。

美国环保局在2002年底向管理和预算局提交一份非公路柴油机草拟管理条例供跨部门讨论。华盛顿特区一家非盈利组织Clean Air Trust执行董事Frank O'Donnell正期待此项努力能够取得进展。“我们认为非公路柴油机管理条例带来的公共健康利益将比公路柴油机管理条例还要大一些”，他说，“但预料会遭到某些公司的抵触。”Schaeffer说，这一主题具有“明显的重要性”。但是，以上管理条例涉及的范围可能会很大，包括驾驶式草坪修剪机到矿用卡车在内的各种柴油机。他和他代表的一些公司还在观望，他们要等到管理条例草案出台后再决定如何采取行动。

美国矿山安全管理局（Mine Safety and Health Administration, MSHA）说，约有

34,000名地下矿井工人受到10,000台柴油机排放的废气的暴露，还有20多万名地面矿工受到12万台柴油机排出的废气的暴露。美国矿山安全管理局在其出版的《减少采矿过程中受柴油机废气暴露实用方法——工具箱》(Practical Ways to Reduce Exposure to Diesel Exhaust in Mining: A Toolbox)的最新版本（1997）中称，地下矿井中平均环境空气DPM读数可高达830微克/立方米，峰值浓度更高达5,570微克/立方米。美国矿山安全管理局已于2001年采用新的管理条例，尽管条例未具体针对哪一种颗粒物的大小，但规定从2002年7月份开始，最大碳浓度不得超过400微克/立方米，并在5年内降低到160微克/立方米。工业界的代表就某些条例的内容到法庭上提出质疑。

柴油机的改型和前景

尽管新的标准有望大幅度降低公路柴油机的颗粒物排放水平，但是数以百万计的老式柴油机仍会运行几十年，这种柴油机在2002年标准生效之前曾被大量订购。为了从某种程度上减少这一部分柴油机的废气排放，美国环保局以及加利福尼亚、华盛顿、纽约、新泽西等州的一些机构正在推出一项自愿改型计划。美国环保局已接近完成了100,000台车改型目标的3/4。参与的主要是公共机构，完成改型的有公共汽车、渡船、垃圾运输车、以及其它类型的车辆。

如何给柴油机加装废气排放控制装置尚未形成统一的标准，但一般应包括安装颗粒物过滤器或氧化催化器。但是，对于重型汽车来说，无论是新车还是旧车改型，最理想的装置应该是催化式颗粒物过滤器。西维吉尼亚大学机械与航天工程系可移动



路上路下：环境法规制定者正在寻求减少交通运输和其它生产活动如采矿使用柴油造成的健康问题。采矿工人常常受高危险水平的柴油颗粒物暴露。



更优质的柴油机：用植物原料制成的生物柴油有可能成为一种清洁高效的代用燃料。

PhotoDisc

重型汽车排放测试实验室主任Scott Wayne说。此类装置可将颗粒物排放量减少95%，同时还可大大减少碳氢化合物和一氧化碳排放量。但是，此类装置还是不能分解氮氧化物。到目前为止所试验的任何方法都存在这一问题。另一个缺点就是会生成少量灰粉，根据某些标准，这些灰粉属有害废物。

对于轻型柴油机动车辆，能源部官员正在协调另一套系统的研究——微波再生废气颗粒物过滤器。常用的催化反应法对轻型柴油机不起作用。因为发动机的工作温度不够高。微波过滤器利用碳化硅纤维将微波能转化为热能，使过滤器无论是在发动机工作时，还是在不可避免的冷启动过程中，都可以在足够高的温度下工作。这一方法已显示出乐观的前景。能源部下属先进汽车技术处柴油内燃机与排放控制研究开发经理Kathi Epping说。

尽管现阶段要想彻底了解这些控制方法的实际效果尚为时过早，但是许多参与者对目前已取得的进展都非常满意。“这些过滤器非常有效”，Kittelson说。“我非常乐观”。但有些观察人员尚未信服。“更微小的颗粒物可能就会有问题”，Billings说：“很显然，这一领域需要引起更多的关注。我们必须对其潜在影响保持警惕。”

改型的步伐在未来几年内可能会有所加快。根据美国环保局现行环境空气PM_{2.5}标准一年水平为15微克/立方米，24小时水平为65微克/立方米——待2004年或2005年完成评估时，大约有120-170个县很可能被评为不达标。美国环保局科学政策副主任John Bachmann说。不能达标的地区主要在东海岸、上中西部地区、以及加利福尼亚州。

除改型之外，另外一个途径就是使用以植物油为燃料的新型柴油机，就像一个世纪前Rudolf Diesel设计的一些内燃机一样。据能源部2000年2月份的一份报告《生物柴油：清洁、绿色的柴油燃料》(Biodiesel: Clean, Green Diesel Fuel)，以大豆、椰子、玉米、和其它作物为燃料的生物柴油的颗粒物排放量比常规柴油机油要少55%以上。

即使在混合燃油中加入20%的生物柴油，这样做通常是为了降低成本，颗粒物排放量的降幅也达到了18%左右。无论是采用100%生物柴油还是20%的混合柴油，一氧化碳、碳氢化合物、以及空气毒物排放都大幅度下降，尽管氮氧化物排放量略有上升。改用生物柴油会造成密封材料劣化和结渣等问题。但是，密苏里州杰斐逊市美国国家生物柴油委员会说，只要采取适当的维护和监控，这些问题并不难解决。

尽管我们最近已经取得进展并且还在计划进一步改进柴油机，但是排放总是再所难免的。即使通过使用现在正逐渐流行的过渡性动力系统，排放量可降低一些。目前，柴油电动以及天然气-电动混型车原型已完成研制并已上路。新推出的还有毒性物质排放量极低的氢动力燃料电池。

但是，已投入使用的柴油机数量是如此巨大，而且，还有许多可能更清洁的柴油机很快就要走出厂门，再加上柴油制造商又不愿意作出改变。“很显然，柴油机仍拥有美好的前景”，Schaeffer说，“在美国，它已经构成了生活不可分割的一部分。”

— Bob Weinhold

译自 *Environmental Health Perspectives*
110: A458-A464 (2002)

改善环境的新途径

美国佛罗里达州交通局的规划官员们花了好几年时间，制订了一项计划，将美国1号公路从半岛内陆到Keys地区长18英里的道路拓宽，此项计划当时没有引起环境保护者的注意。在20世纪90年代中期，佛罗里达州交通局(FDOT)申请了施工许可证，将这条道路由两车道扩建为四车道。虽然，这会方便更多的车辆行驶，但道路的扩建，明显影响了Keys地区的环境。规划者们，尤其是FDOT以外的组织，对这些影响并没有进行认真的研究。佛罗里达州的一个民间环保组织(1,000 Friends of Florida)的执行理事Charles Pattison说：“你看，一下子所有的问题都冒出来了”。

Pattison联合另外三个民间组织对FDOT提起了诉讼。目前，这项工程仍处于诉讼之中，前途未卜——这是传统的交通规划方法与管理发生冲突的一个最佳范例。这种冲突，往往只有到了规划的实施阶段，道路建设对环境产生影响时，才会得到认真考虑。规划者们总是习惯性地忽视个人和组织提出的基于环境方面考量的反对意见。但是，一旦规划搁浅，纳税人将蒙受损失。如果早期规划做得周全的话，这种损失应该是可以避免的。

为了解决这个问题，佛罗里达州正着手实施一项称为“有效交通决策”(ETDM)的试点计划，要求在交通规划的早期将环境因素考虑进去。由佛罗里达州交通局开展的这项计划，是为了实现“交通规划”与“环境协调”的目标而进行的首次尝试。美国国会于1998年通过的“21世纪交通平衡法”中提出了这一理念。佛罗里达州交通局正在与联邦公路管理局和其它有关联邦机构、州政府、及地方部门共同进行这项尝试。这项尝试在全国范围内受到密切关注。

“你可以大兴土木，但必须同时保护环境。你还得必须找到有效的防范措施。”FDOT环境管理部门负责人及ETDM的协调人Leroy Irwin说，“这将帮助我们早一点发现潜在的问题。”

目前，Irwin和同事们正在努力制定一项有关不同部门将如何在这项工作中分工协作的计划。具体操作上，实施ETDM计划要求组建一个环境技术咨询委员会，人员由不同部门的代表组成，其职责是在规划过程的早期对具体项目进行甄别。这个委员会计划在2003年7月进行首次项目甄别。

非政府机构的代表们至少现在对ETDM的决策程序感到满意。“如果确实象所设想的那样，这将是一件大好事，我们将百分之百的赞成。”佛罗里达州奥兰多野生动物保护者协会，负责交通与野生动物生态协调的Jennifer McMurray说。

她以目前有争议的一项道路规划为例来说明ETDM是如何发挥作用的，该规划是一条穿过Wekiva河保护区的道路。“这真是一个很糟的项目”，她说。“如果当时有ETDM系统，而且被用来审查这条公路，那么，这将是一个到处都亮红灯的项目。一个有争议的项目是对ETDM系统的一次测试：在有红灯出现的情况下，这项规划又怎么能出台呢？”

在今后的几年里，美国的交通规划者和环境保护者将密切关注佛罗里达州的交通规划问题，看看他们是如何解决有争议的项目。

— Richard Dahl

译自 *Environmental Health Perspectives*
110: A463 (2002)